

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2017.07.032

不同品种黑腺肋花楸活性物质含量与 抗氧化活性相关性研究

Study on correlation between contents of active substances and
antioxidant activity in different varieties of *Aronia Melanocarpa*

廖霞¹ 李苇舟¹ 郑少杰¹ 石芳¹ 明建^{1,2}

LIAO Xia¹ LI Wei-zhou¹ ZHENG Shao-jie¹ SHI Fang¹ MING Jian^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Engineering Research Center for Special Foods, Chongqing 400715, China)

摘要:为评价不同品种黑腺肋花楸活性物质含量及其抗氧化活性,以 3 种黑腺肋花楸为原料,采用 Folin-Ciocalteu 比色法、pH 示差法、硝酸铝—亚硝酸钠法分别测定其多酚、花青素和黄酮含量,通过 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力以及还原力法评价 3 种花楸多酚、花青素、黄酮的抗氧化活性。结果表明:3 种黑腺肋花楸多酚含量变化范围为 11.916~14.550 mg GAE/g · FW,具有较强的抗氧化力,尼罗多酚清除 DPPH、ABTS 自由基能力较强,克蓝还原力较强;花青素百分含量为 3.094%~3.771%,尼罗花青素抗氧化能力最强;黄酮含量为 19.519~23.399 mg RE/g · FW,克蓝清除 DPPH 自由基能力较强,尼罗清除 ABTS 自由基能力较强,而维金还原力较强。活性物质含量与抗氧化活性相关性分析表明,黑腺肋花楸花青素含量与 DPPH⁺、ABTS⁺清除率呈显著正相关,黄酮含量与 ABTS⁺清除率呈显著正相关,其余指标间无显著相关性。

关键词:黑腺肋花楸;多酚;花青素;黄酮;抗氧化活性

Abstract: This study aimed to investigate the correlation between the content of active substances and antioxidant activity in three kinds of *Aronia Melanocarpa*. The total phenolic content was determined by Folin-Ciocalteu method, the anthocyanins content was determined by pH-different method, and the flavonoids was determined by Al(NO₃)₃-NaNO₂ system method. Then, determining the

DPPH⁺ · scavenging capacity, ABTS⁺ · scavenging capacity and reducing power of active substances. It was shown that the phenolic content ranged from 11.916 to 14.550 mg GAE/g · FW, which have the best antioxidant properties, the DPPH⁺ · scavenging capacity and ABTS⁺ · scavenging capacity of polyphenols in Elliott was the strongest, while Kelan have stranger reducing power; the anthocyanins ranged from 3.094% to 3.771%, the anthocyanins in Elliott exhibited the best antioxidant properties; the flavonoids ranged from 19.519 to 23.399 mg RE/g · FW, The DPPH⁺ · scavenging capacity of flavonoids in Kelan was the strongest, Elliott possessed the strongest ABTS⁺ · scavenging capacity, while Viking have stranger reducing power. Correlation analysis showed that there were positively correlations between the anthocyanins content and antioxidant activity, including DPPH⁺ · and ABTS⁺ · scavenging capacity; meanwhile significant positive correlation were observed between ABTS⁺ · scavenging capacity and the flavonoids content; but no significant correlations were found among the rest of the index.

Keywords: *Aronia Melanocarpa*; total phenolic; anthocyanins; flavonoids; antioxidant activity

黑腺肋花楸(*Aronia Melanocarpa*),又名野樱莓,属蔷薇科植物,原产于北美洲^[1],在中国为引进种。其果实富含多种营养物质,如碳水化合物、有机酸、维生素、矿物元素等^[2],同时,还含有大量的多酚^[3]、花青素^[4]、黄酮^[5]等活性物质,可以有效地清除自由基,具有抗氧化^[6]、抗炎^[7]、降血糖^[8]、保肝^[9]和抗辐射^[10]等药理活性。Stefka 等^[11]研究报道黑腺肋花楸果汁对顺铂诱导的毒性有保护作用,可能是由于其良好的抗氧化活性。因此黑腺肋花楸具有很高的利用价值,开发前景广阔。目前国内对黑腺肋花楸的研究基于提升栽培技术^[12],国外主要集中于其功效作用探索^[13],对饮食

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:31471576);重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(编号:cstc2014pt-gc8001)

作者简介:廖霞,女,西南大学在读硕士研究生。

通信作者:明建(1972—),男,西南大学教授,博士。

E-mail:mingjian1972@163.com

收稿日期:2017—04—17

保健^[14]等方面的研究也逐渐受关注,但是对不同品种黑腺肋花楸活性物质含量及抗氧化能力尚鲜有研究,对其多酚类物质的重要性认识和利用更是欠缺,本试验通过比较研究 3 种黑腺肋花楸果实(尼罗、克蓝、维金)的多酚、花青素、黄酮含量及与抗氧化活性的相关性,旨在为黑腺肋花楸的深层次药用研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黑腺肋花楸:采自辽宁省大连市庄河(采摘时间:2015 年 9 月);
浓盐酸:分析纯,重庆川东化工有限公司;
铁氰化钾:分析纯,天津博迪化工股份有限公司;
DPPH、ABTS、抗坏血酸(V_C):分析纯,美国 Sigma 公司;
乙酸乙酯、芦丁等:分析纯,成都科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

打浆机:JYL-C012 型,九阳股份有限公司;
均质机:XHF-D 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;
数显恒温水浴锅:HH-6 型,金坛市富华仪器有限公司;
电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9140A 型,上海齐欣科学仪器有限公司;
台式高速离心机:5810 型,德国 Eppendorf 公司;
旋转蒸发器:RE-5296 型,上海亚荣生化仪器厂;
数显恒温水浴锅:HH-6 型,常州澳华仪器有限公司;
分光光度计:722 型,上海精科科学仪器厂;
pH 计:PB-10 型,德国赛多利斯公司。

1.3 方法

1.3.1 样品预处理 挑选出无病虫害、无机械损伤、色泽一致的 3 种黑腺肋花楸果实,室温放置 12 h 后贮藏于-40 ℃,使用前取出解冻后,经打浆机打成果浆。

1.3.2 多酚测定

- (1) 游离酚提取:参考文献^[15]。
- (2) 结合酚提取:参考文献^[16]。
- (3) 多酚含量测定:采用 Folin-Ciocalteu 比色法^[17]。

1.3.3 花青素测定 随机选取黑腺肋花楸果实制成匀浆,分别称取 1.25 g 花楸果浆,加入 25 mL 70%乙醇,50 ℃水浴 1 h,3 500 r/min 离心 10 min,取上清液,用去离子水定容至 25 mL,-40 ℃避光保存。

花青素含量测定:采用 pH 示差法^[18]。

1.3.4 黄酮测定 分别称取黑腺肋花楸果浆 1.00 g,加入

80%乙醇溶液 35 mL,75 ℃水浴 2.5 h,然后 3 500 r/min 离心 10 min,取上清液,抽滤后于 45 ℃旋转蒸干。最后用水定容至 25 mL,-40 ℃避光保存。

黄酮含量测定:采用硝酸铝-亚硝酸钠法^[19]。

1.3.5 抗氧化活性测定 DPPH⁺·清除力、ABTS⁺·清除力和还原力分别参考 Cheung 等^[20]、Soong 等^[21]和 Ardestani 等^[22]的方法。

1.4 数据处理

试验重复 3 次,结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示,数据采用 Origin 8.0 统计分析,并用 SPSS 软件进行显著性分析(P<0.05),采用 Pearson's 相关系数进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种黑腺肋花楸活性物质含量分析

由表 1 可知,3 种黑腺肋花楸活性物质含量较高。3 种黑腺肋花楸多酚以游离酚为主,结合酚含量普遍较低,其中维金的总酚含量最高(14.550 mg GAE/g·FW),与蓝莓、黑莓、草莓中多酚相比^[23],3 种黑腺肋花楸多酚含量相对较高,同李斌等^[24]分析一致。对于花青素而言,3 种黑腺肋花楸花青素含量具有显著性差异,维金的花青素含量最高(3.771%),尼罗的花青素含量最低(3.09%),与 6 种高丛蓝莓花青素(2.31~7.30 mg/g)相比^[25],3 种黑腺肋花楸浆果花青素含量是其 3 倍甚至十几倍,与姚利阳等^[26]研究结果一致。对于黄酮而言,含量最高的是维金(23.399 mg RE/g·FW),最低的是尼罗(19.519 mg RE/g·FW),尼罗与克蓝黄酮含量无显著性差异,但显著低于维金,都比欧洲花楸 US-05 的含量高^[27]。导致 3 种黑腺肋花楸活性物质含量差异的原因较多,如品种、种植地域、气候、果农种植技术等,此外,不同花楸品种果实的成分组成、代谢机理、遗传机理也会造成差异。

2.2 不同品种黑腺肋花楸活性物质清除 DPPH⁺·能力比较

由图 1 可知,3 种黑腺肋花楸多酚清除 DPPH⁺·能力最强,均强于抗坏血酸,其次是黄酮,说明黑腺肋花楸多酚具有较强的 DPPH⁺·清除能力。对于多酚而言,维金、尼罗和克蓝的 IC₅₀ 值分别为 17.798,18.198,18.639 μg/mL,对 DPPH⁺·的清除能力无显著性差异;对于花青素的 IC₅₀ 值,尼罗显著低于克蓝,克蓝显著低于维金,因此尼罗花青素清除 DPPH⁺·能力强于克蓝和维金;而黄酮的 IC₅₀ 值,克蓝与维金无显著性差异,但均显著低于尼罗,说明尼罗黄酮清除 DPPH⁺·能力较弱。

表 1 3 种黑腺肋花楸活性物质含量[†]

Table 1 Contents ofactive substances in three kinds *Aronia melanocarpa*

花楸品种	游离酚含量/ (mg GAE·g ⁻¹ ·FW)	结合酚含量/ (mg GAE·g ⁻¹ ·FW)	总酚含量/ (mg GAE·g ⁻¹ ·FW)	花青素含量/ %	黄酮含量/ (mg RE·g ⁻¹ ·FW)
尼罗	11.512±0.529 ^b	0.404±0.004 ^a	11.916±0.532 ^b	3.094±0.104 ^c	19.519±0.707 ^b
克蓝	12.034±0.780 ^b	0.181±0.010 ^b	12.215±0.790 ^b	3.512±0.011 ^b	20.309±0.486 ^{ab}
维金	14.435±0.255 ^a	0.115±0.004 ^c	14.550±0.251 ^a	3.771±0.060 ^a	23.399±1.459 ^a

† 同列小写字母不同代表差异显著(P<0.05)。

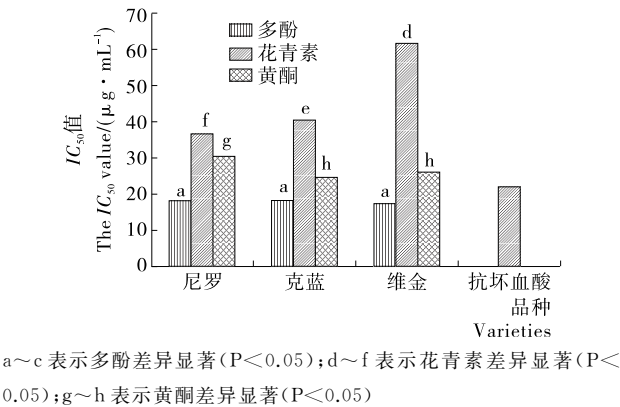


图 1 3 种黑腺肋花楸活性物质 $DPPH^+$ · 清除率
Figure 1 $DPPH^+$ · scavenging rates of active substances in three kinds of *Aronia melanocarpa*

2.3 不同品种黑腺肋花楸活性物质清除 $ABTS^+$ · 能力比较

由图 2 可知,3 种黑腺肋花楸多酚清除 $ABTS^+$ · 能力最强,其次是黄酮,且两者均强于抗坏血酸,说明黑腺肋花楸多酚和黄酮具有较强的 $ABTS^+$ · 清除能力。对于多酚的 IC_{50} 值,尼罗与克蓝无显著性差异,但显著低于维金,因此,尼罗多酚清除 $ABTS^+$ · 能力强于克蓝和维金;而尼罗花青素的 IC_{50} 值显著低于克蓝,克蓝显著低于维金,说明尼罗花青素清除 $ABTS^+$ · 能力最强,其次是克蓝;对于黄酮的 IC_{50} 值,尼罗最小,维金最大,尼罗与克蓝清除 $ABTS^+$ · 能力无显著差异,但显著强于维金。

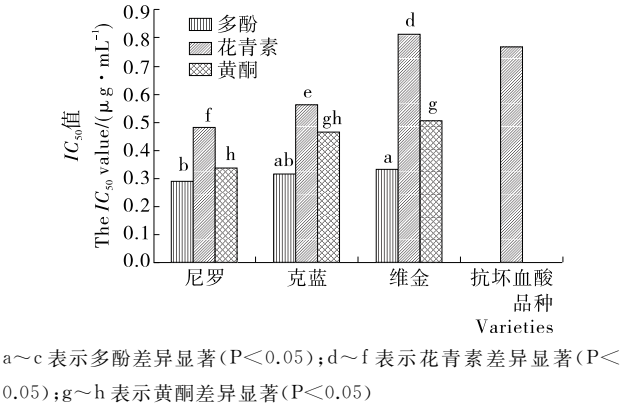


图 2 3 种黑腺肋花楸活性物质 $ABTS^+$ · 清除率
Figure 2 $ABTS^+$ · scavenging rates of active substances in three kinds of *Aronia melanocarpa*

2.4 不同品种黑腺肋花楸活性物质还原力比较

由图 3~5 可知,随着多酚、花青素和黄酮浓度增加,其吸光度不断提升,表明随多酚浓度增加,抗氧化能力增强,同一浓度下黑腺肋花楸花青素和黄酮的还原力弱于抗坏血酸,克蓝多酚略强于抗坏血酸,但尼罗、维金多酚弱于抗坏血酸。当浓度为 $20 \mu g/mL$ 时,尼罗、克蓝、维金多酚的吸光度分别为 0.218, 0.300, 0.252, 克蓝多酚的还原力强于维金,尼罗最弱;花青素的吸光度分别为 0.148, 0.135, 0.113, 尼罗的还原力最强,其次是克蓝;而黄酮的吸光度分别为 0.124, 0.147,

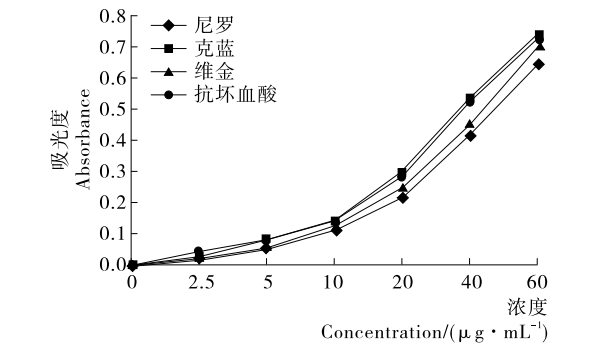


图 3 3 种黑腺肋花楸多酚的还原力
Figure 3 Reducing power of polyphenol in three kinds of *Aronia melanocarpa*

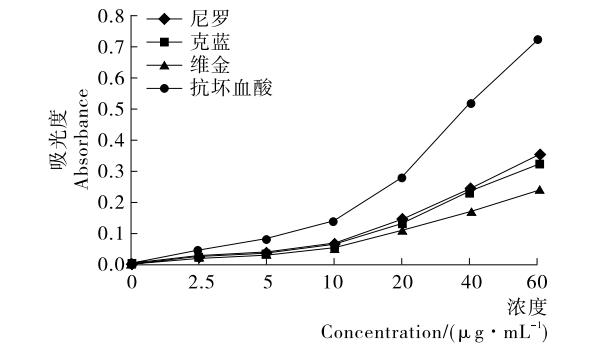


图 4 3 种黑腺肋花楸花青素的还原力
Figure 4 Reducing power of anthocyanins in three kinds of *Aronia melanocarpa*

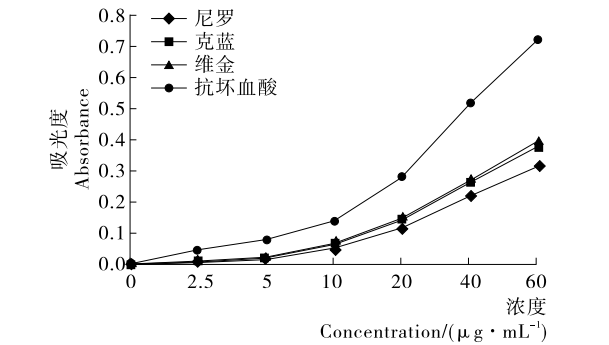


图 5 3 种黑腺肋花楸黄酮的还原力
Figure 5 Reducing power of flavonoids in three kinds of *Aronia melanocarpa*

0.153, 维金的还原力相对较强。表明在一定浓度下,3 种黑腺肋花楸多酚的还原力最强。

2.5 黑腺肋花楸活性物质含量与抗氧化活性相关性分析

关于活性物质含量与抗氧化能力的相关性研究结果不一,有研究^[28]表明葡萄籽白藜芦醇含量与 $\cdot OH$ 清除力无显著相关性,但马杰等^[29]研究报道豌豆尖总酚含量与 FRAP、ABTS 抗氧化能力均呈极显著正相关性。从本试验结果分析,在一定浓度范围,3 种黑腺肋花楸的多酚、花青素、黄酮含量与其抗氧化能力有明显的量效关系;3 种抗氧化方法评价的结果不同,可能是活性物质的多样性及含量不同,显示出抗氧化活性有差异,此外,不同抗氧化活性评价方法作用

机理不同,也会导致评估结果不同,因此采用不同的抗氧化活性评价方法,更能全面体现其生物学意义^[30]。由表 2 可知,黑腺肋花楸多酚与花青素含量之间存在显著正相关性($P<0.05$),花青素与黄酮含量之间也存在显著正相关性($P<0.05$);多酚含量与抗氧化指标无显著相关性;但花青素含量与 DPPH⁺·清除率呈显著正相关($P<0.05$),与 ABTS⁺·清除率呈极显著正相关($P<0.01$);此外,黄酮含量与 ABTS⁺·清除率呈极显著正相关($P<0.01$),但与 DPPH⁺·清除率无相关性。

表 2 活性物质含量与抗氧化能力相关性[†]

Table 2 Correlation between polyphenols and antioxidant activity of three kinds *Aronia melanocarpa*

指标	多酚	花青素	黄酮	DPPH ⁺ ·清除率	ABTS ⁺ ·清除率
多酚	1.000	0.805 *	0.719	0.431	0.701
花青素		1.000	0.824 *	0.896 *	0.916 **
黄酮			1.000	0.760	0.929 **

† ** 为极显著相关($P<0.01$); * 为显著相关($P<0.05$)。

3 结论

(1) 3 种黑腺肋花楸总酚(主要以游离酚形式存在)含量为 11.916~14.550 mg GAE/g·FW,花青素百分含量为 3.094~3.771%,黄酮含量为 19.519~23.399 mg RE/g·FW。维金的活性物质含量最高,总酚、花青素、黄酮含量分别为(14.550±0.251)mg GAE/g·FW、(3.771±0.06)%、(23.399±1.459)mg RE/g·FW。

(2) 体外抗氧化活性结果表明,3 种黑腺肋花楸活性物质多酚的抗氧化能力最强,清除 DPPH⁺·能力无显著差异,尼罗多酚清除 ABTS⁺·能力较强,但还原力较弱,Oszmianski 等^[31]研究也表明黑腺肋花楸浆果含有较高的多酚含量和抗氧化活性。尼罗花青素抗氧化能力最强,其次是克蓝。克蓝黄酮清除 DPPH⁺·能力较强,但尼罗黄酮清除 ABTS⁺·能力较强,而维金的还原力较强。

(3) 黑腺肋花楸活性物质与抗氧化能力相关性分析表明,多酚含量与 DPPH⁺·、ABTS⁺·清除率无显著相关性,但花青素含量与 DPPH⁺·、ABTS⁺·清除率呈正相关性,黄酮含量与 ABTS⁺·清除率呈正相关性,与 DPPH⁺·清除率无显著相关性。

本研究对 3 种黑腺肋花楸活性物质含量及其抗氧化活性相关性进行基础研究,今后可进一步探讨黑腺肋花楸抗氧化作用机理,以期为开发相关产品提供理论依据。

参考文献

[1] KOKOTKIEWICZ A, JAREMICZ Z, LUCZKIEWICZ M. Aronia plants: a review of traditional use, biological activities, and perspectives for modern medicine[J]. Journal of Medicinal Food, 2010, 13(2): 255-269.

[2] 于雪, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 黑果腺肋花楸营养物质与功效的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 396-400.

[3] TOLIC MT, KRBAVCIC I P, VUJEVIC P, et al. Effects of

weather conditions on phenolic content and antioxidant capacity in juice of chokeberries[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2017, 67(1): 67-74.

[4] TOLIC MT, JURCEVIC I L, KRBAVCIC I P, et al. Phenolic content, antioxidant capacity and quality of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) products [J]. Food Technology and Biotechnology, 2015, 53(2): 171-179.

[5] MONIKA A O, JOANNA M R. Phenolic constituents of the inflorescences of *Sorbus torminalis* (L.) Crantz[J]. Phytochemistry Letters, 2011, 4(2): 151-157.

[6] RAUDONIS R, RAUDONE L, GAIVELYTE K, et al. Phenolic and antioxidant profiles of rowan (*Sorbus* L.) fruits[J]. Natural Product Research, 2014, 28(16): 1 231-1 240.

[7] ZAPOLSKA DWNAR D, BRYK D, MAŁECKI M, et al. Aronia melanocarpa fruit extract exhibits anti-inflammatory activity in human aortic endothelial cells[J]. European Journal of Nutrition, 2012, 51(5): 563-572.

[8] OLAS B, WACHOWICZ B, NOWAK P, et al. Studies on antioxidant properties of polyphenol-rich extract from berries of Aronia melanocarpa in blood platelets[J]. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, 2008, 59(4): 823-835.

[9] VALCHEVA K S, BORISOVA P, GALUNSKA B, et al. Hepatoprotective effect of the natural fruit juice from Aronia melanocarpa on carbon tetrachloride-induced acute liver damage in rats[J]. Experimental and Toxicologic Pathology, 2004, 56(3): 195-201.

[10] 杨华, 任悦, 庞惟俏, 等. 5 种常见野生浆果的抗紫外线和抗微波辐射性能[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 60-65.

[11] STEFKA V, ANNA B, GEORGI T M. Protective effect of Aronia melanocarpa fruit juice in a model of cisplatin-induced cytotoxicity in vitro[J]. Folia Medica, 2013, 55(3/4): 76-79.

[12] 张晓燕, 李春晓, 刘宏伟, 等. 黑果腺肋花楸绿枝扦插试验结果初报[J]. 林业科技, 2017, 42(2): 25-27.

[13] 王鹏. 国外黑果腺肋花楸多酚类物质功能性研究进展[J]. 林业科技, 2014, 39(4): 67-70.

[14] SHARIF T, STAMBOULI M, BURRUS B, et al. The polyphenolic-rich Aronia melanocarpa, juice kills teratocarcinoma cancer stem-like cells, but not their differentiated counterparts [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(3): 1 244-1 252.

[15] OKARTER N, LIU C S, SORRELLS M E, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat[J]. Food Chemistry, 2010, 119(1): 249-257.

[16] NUUTILA A, KAMMIOVIRTA K, OKSMANCALENT-EY K M. Comparison of methods for the hydrolysis of flavonoids and phenolic acids from onion and spinach for HPLC analysis[J]. Food Chemistry, 2002, 76(4): 519-525.

[17] LI Fu-hua, ZHANG Xiao-li, ZHENG Shao-jie, et al. The composition, antioxidant and antiproliferative capacities of phenolic compounds extracted from tartary buckwheat bran [*Fagopyrum tartaricum* (L.) Gaerth][J]. Journal of Functional Foods, 2016, 22: 145-155.

[18] 廉玉姬, 夏霖, 林光哲. 紫色马铃薯 Bora valley 花青素的提取与含量测定[J]. 临沂师范学院学报, 2009, 31(6): 85-88.

[19] 熊双丽, 李安林, 任飞. 苦荞和甜荞麦粉及麦壳中总黄酮的提取和自由基清除活性[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 118-122.

(下转第 174 页)

and noodles [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(1): 213-217.

[13] CNOSEN A G, SIEBENMORGEN T J. The glass transition temperature concept in rice drying and tempering; Effect on drying rate [J]. Transactions of the Asae, 2002, 43(6): 1 661-1 667.

[14] HU Yue-ming, NIE Wei, HU Xin-zhong, et al. Microbial decontamination of wheat grain with superheated steam [J]. Food Control, 2016, 62: 264-269.

[15] 石慧, 陈卓逐, 阙建全. 大肠杆菌在食品加工贮藏中胁迫响应机制的研究进展[J]. 食品科学, 2016(9): 250-257.

[16] 张燕燕, 蔡静平, 蒋澎. 储粮微生物危害检测技术研究进展[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 267-270.

[17] LACA A, MOUSIA Z, DIAZ M, et al. Distribution of microbial contamination within cereal grains [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 72(4): 332-338.

[18] PIPER P W. Molecular events associated with acquisition of heat tolerance by the yeast *Saccharomyces cerevisiae*[J]. FEMS Microbiology Reviews, 1993, 11(4): 339-355.

[19] WEITZEL G, PILATUS U, RENSING L. The cytoplasmic pH, ATP content and total protein synthesis rate during heat-shock protein inducing treatments in yeast[J]. Experimental Cell Research, 1987, 170(1): 64-79.

[20] LU Z H, LI L T, MIN W H, et al. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodles[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2005, 40(9): 985-992.

[21] GRAS P W, BANKS H J, BASON M L, et al. A quantitative study of the influences of temperature, water activity and storage atmosphere on the yellowing of milled rice[J]. Journal of Cereal Science, 1990, 12(2): 193-201.

[22] SOPONRONNARIT S, SRISUBATI N, YOOVIDHYA T. Effect of temperature and relative humidity on yellowing rate of paddy[J]. Journal of Stored Products Research, 1998, 34(4): 323-330.

[23] 蔡永艳. 米粉干法生产工艺及品质改良的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 61.

[24] 蔡永艳, 陈洁, 王春, 等. 米粉干法生产工艺的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 32(1): 39-42.

[25] 孟亚萍. 挤压米粉丝加工及品质改良技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 31.

(上接第 106 页)

[2] 徐少平, 刘小平, 李春泉, 等. 基于区域最大相似度的快速图像分割算法[J]. 光电子·激光, 2013(5): 990-998.

[3] 卢夏衍, 李昕, 冉鹏, 等. 温室幼苗图像的多算法融合区域生长分割算法研究[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(6): 89-93.

[4] KANG Chung-chia, WANG Wen-June, KANG Chung-hao. Image segmentation with complicated background by using seeded region growing[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2012, 66(9): 767-771.

[5] 曹军, 许雷, 张怡卓, 等. 实木地板图像差分 and 形态学分割算法研究[J]. 安徽农业科学, 2013(28): 11 403-11 406.

[6] 贺振东, 王耀南, 刘洁, 等. 基于背景差分的高铁钢轨表面缺陷图像分割[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(3): 640-649.

[7] 胡敏, 蔡慧芬. 基于形态学标记连通的分水岭图像分割[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(10): 864-869.

[8] 杨慧斌, 闫娟. 基于 LabVIEW 的食品包装喷码视觉检测方法[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 123-126.

[9] 何小虎. 基于计算机视觉的啤酒瓶空瓶检测图像采集技术[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 105-107.

[10] 姒绍辉, 胡伏原, 顾亚军, 等. 一种基于不规则区域的高斯滤波去噪算法[J]. 计算机科学, 2014(11): 313-316.

[11] RAFAEL C Gonzalez, RICHARD E Woods. 数字图像处理 [M]. 2 版. 阮秋琦, 阮宇智, 译. 北京: 电子工业出版社, 2007.

[12] 杨单. 基于图像差分特征的彩色图像差分预测与信息提取算法研究[J]. 计算机科学, 2015(1): 308-311.

[13] 彭向前. 产品表面缺陷在线检测方法研究及系统实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008: 45-48.

[14] 吴志川, 彭国华. 基于灰色聚类决策的图像分割性能评价[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(19): 197-200.

(上接第 148 页)

[20] CHEUNG L M, CHEUNG P C K, OOI V E C. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts[J]. Food Chemistry, 2003, 81(2): 249-255.

[21] ARDESTANI A, YAZDANPARAST R. Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts[J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 21-29.

[22] SOONG Y Y, BARLOW P J. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds[J]. Food Chemistry, 2004, 88(3): 411-417.

[23] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄. 草莓、黑莓、蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2011, 32(23): 130-133.

[24] 李斌, 高凝轩, 刘辉, 等. 大孔树脂纯化黑果腺肋花楸多酚的工艺优化[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 69-74.

[25] 周方, 赵宏飞, 杨洋. 高丛蓝莓品种花青素含量与抗氧化能力比较[J]. 西南林业大学学报, 2011, 31(5): 53-57.

[26] 姚利阳, 张宇, 张立宇, 等. 黑果花楸与 2 种小浆果中黄酮类物质及多糖含量比较[J]. 安徽农业科学, 2016, 41(1): 122-124.

[27] 张妍妍, 李静, 卢慧颖, 等. 哈尔滨市主栽花楸果实主成分测定分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(20): 204-205, 342.

[28] 陈梦微, 邓群仙, 张金容, 等. 葡萄不同品种和组织中白藜芦醇含量及其抗氧化活性分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 150-154.

[29] 马杰, 孙勃, 薛生玲, 等. 豌豆尖主要营养成分、生物活性物质及抗氧化能力分析[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 47-51.

[30] 焦扬, 宋海, 张勇, 等. 3 种野生浆果果酒中活性物质及抗氧化活性比较[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(1): 60-65.

[31] OSZMIANSKI J, WOJDYLO A. *Aronia melanocarpa* phenolics and their antioxidant activity[J]. European Food Research and Technology, 2005, 221(6): 809-813.